

*Филиппов М.А., Гervasъев М.А., Худорожкова Ю.В., Юровских В.В.,
Легчило В.В., Гаранин Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ 150ХНМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАКАЛКОЙ

В связи с необходимостью разработки технического процесса производства цилиндрических втулок буровых насосов из стали 150ХНМ, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, цель работы состояла в изучении влияния температуры нагрева под закалку в широком диапазоне (850÷1175 °С), на достижение максимальной износостойкости. Выдержка при температуре нагрева составляла 30 мин., охлаждение в масле.

Из литых трубных заготовок стали 150ХНМ после нормализации и отпуска изготовлены образцы размером 10 x 10 x 25 мм для изучения микроструктуры и испытаний на абразивное изнашивание. Исходная структура образцов состоит из неравномерно распределенных участков карбидной эвтектики (ледебурита) (в среднем около 5 %), вторичного цементита по границам зерен и перлита с твердостью около 300 HV.

Оценка износостойкости образцов из стали 150ХНМ производилась по методике изнашивания по закрепленному образцу, реализованной на установке на базе строгального станка. Образцы с площадью рабочей части 10 x 10 мм совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумаге 14А32МН481 (ГОСТ 6456-82) на корундовой основе. Длина одного рабочего хода образцов составляла 0,135 м, путь трения образца за одно испытание при скорости движения 0,158 м/с составлял 60 м. Нормальная нагрузка, действующая на образец, – 10 кг (удельная нагрузка 1 МПа). Величина поперечного смещения шлифовальной бумаги за один двойной ход образца равнялась 1,2 мм.

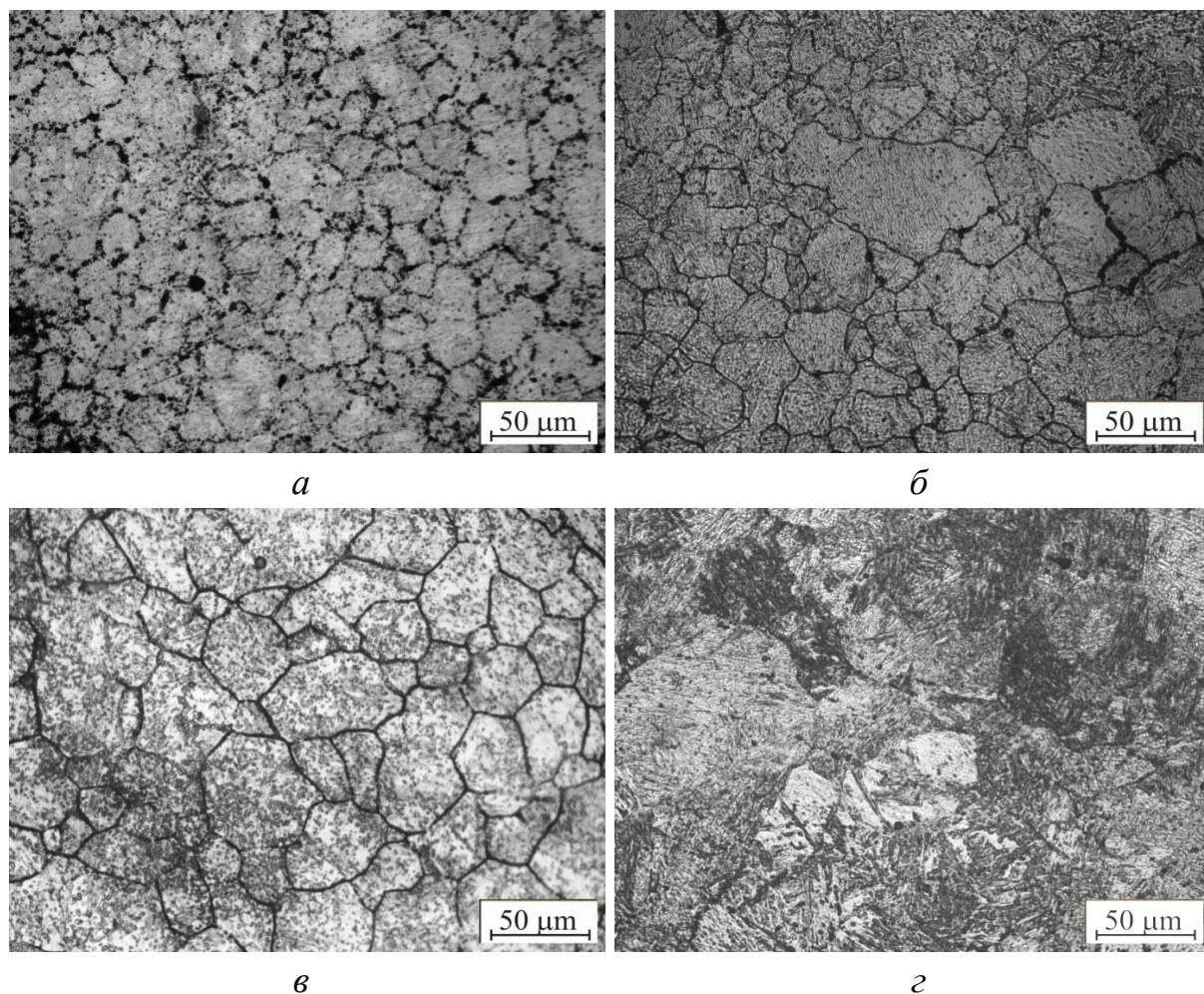


Рис. 1. Микроструктура стали 150ХНМ после закалки от различных температур: *а* – 850 °С; *б* – 1000 °С; *в* – 1100 °С; *г* – 1175 °С

Абразивная износостойкость определялась по результатам двух параллельных испытаний (эталон – валковая сталь 9Х5МФС), сравнение результатов производили через относительные единицы.

Микроструктура после закалки от различных температур представлена на рис.1, а результаты испытаний образцов стали 150ХНМ после закалки от различных температур при абразивном изнашивании – на рис. 2.

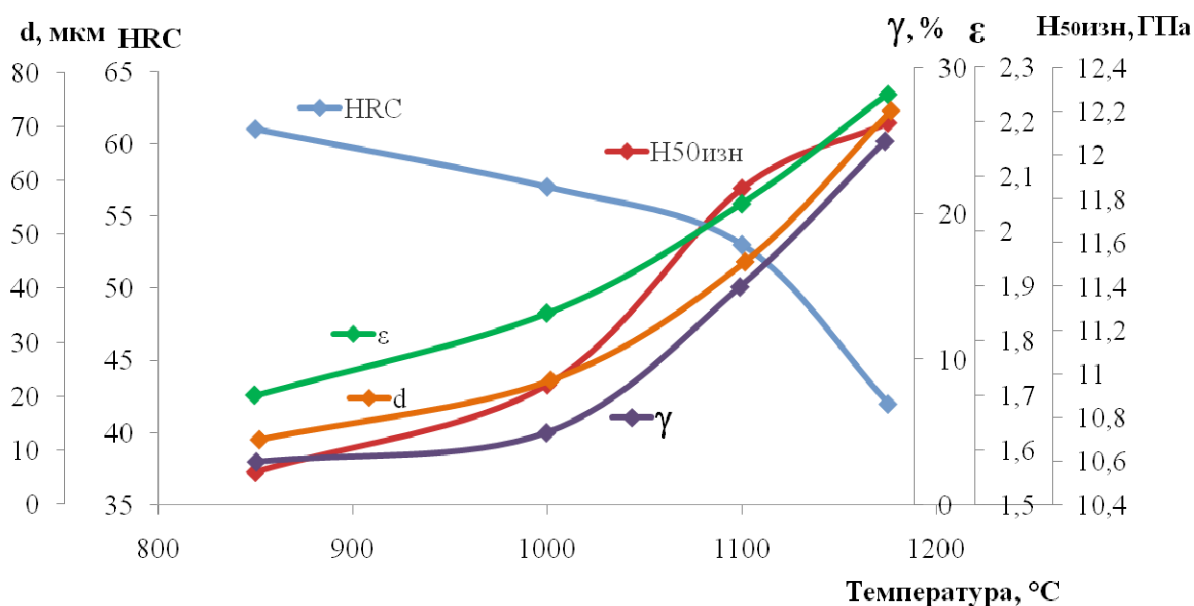


Рис. 2. Влияние температуры нагрева под закалку на величину зерна (d), количество аустенита (γ), твердость (HRC), относительную износостойкость (ϵ) и микротвердость на поверхности изнашивания ($H_{50\text{изн.}}$) стали 150ХНМ

На рис. 1 видно, что с увеличением температуры аустенитизации наблюдается закономерное увеличение размера зерна, особенно заметное после нагрева при температурах выше 1000 °C в связи с тем, что при этих температурах происходит интенсивное растворение сетки вторичного цементита.

Повышение температуры нагрева под закалку вызывает также постепенное растворение вторичных карбидов типа $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$. Это приводит к увеличению количества остаточного аустенита от 0 до 25 % при $t_{\text{зак}} = 850$ и 1175 °C соответственно (рис. 2). Насыщение твердого раствора углеродом и хромом обуславливает снижение твердости HRC, сначала незначительное, а вследствие увеличения количества остаточного аустенита после нагрева выше 1100 °C – уменьшение твердости от 53 HRC (при $t_{\text{зак}} = 1100$ °C) до 42 HRC (при $t_{\text{зак}} = 1175$ °C).

Величина твердости зависит от соотношения двух противоположно действующих факторов: доли остаточного аустенита, снижающего твердость, с одной стороны, и концентрации углерода в мартенсите – с другой. Начиная с температур закалки 850 °C, первый фактор превалирует, что вызывает снижение твердости стали после закалки.

В противоположность твердости, износостойкость стали 150ХНМ возрастает при повышении температуры нагрева под закалку, начиная с 1100 °С (рис. 2).

Отмеченные особенности влияния температуры закалки на износостойкость стали 150ХНМ подтверждают литературные данные о положительной роли остаточного аустенита определенного состава и его метастабильности по отношению к деформационному мартенситному превращению в обеспечении высокой износостойкости [1]. Рост износостойкости обусловлен увеличением количества деформационного α -мартенсита с высоким содержанием углерода на поверхности износа по мере повышения $t_{\text{зак}}$ и повышением способности остаточного аустенита к фрикционному упрочнению (рис. 2).

Наибольшая износостойкость стали 150ХНМ обеспечивается после закалки от 1175 °С так же, как это имеет место после высокотемпературной закалки валковой стали 9Х5МФС [2]. Данные рис. 2 указывают на корреляцию между максимальными значениями относительной износостойкости и микротвердости рабочей поверхности стали 150ХНМ после изнашивания. В связи с этим для оценки сопротивления изнашиванию целесообразно использовать величину эффективной микротвердости ($HV_{\text{эфф}}$), которая складывается из исходной микротвердости (HV_0) и прироста микротвердости (ΔHV) на поверхности изнашивания: $HV_{\text{эфф}} = HV_0 + \Delta HV$ [3]. Эффективная микротвердость служит комплексной характеристикой прочности поверхностного слоя материала, учитывающей, наряду с исходной твердостью, упрочнение, вносимое фазовыми превращениями в процессе изнашивания, и деформационное упрочнение присутствующих и вновь образующихся фаз, в частности упрочнение от образования мартенсита деформации.

Выводы

1. Мартенситная структура стали 150ХНМ, полученная при закалке от нормальных температур (850–900 °С), обеспечивает высокую твердость (61 HRC), однако при этом не достигается максимальная износостойкость в условиях абразивного изнашивания.

2. Повышение температуры закалки до 1050÷1175 °С вызывает прогрессирующее снижение исходной твёрдости (до 42 HRC) в связи с растворением части карбидов и соответствующим увеличением количества остаточного аустенита, однако это сопровождается ростом износостойкости при абразивном изнашивании.

3. Остаточный аустенит, получаемый в результате высокотемпературной закалки стали 150ХНМ (1100–1175 °С), метастабилен и превращается в мартенсит деформации в процессе изнашивания, что придает стали максимальную износостойкость вследствие формирования высокой способности к фрикционному упрочнению рабочей поверхности.

4. На основании изучения структуры и износостойкости стали 150ХНМ после различных температур нагрева под закалку определен оптимальный интервал температуры нагрева под закалку с точки зрения высокой износостойкости, который составляет 1050÷1150 °С. Дальнейшее повышение температуры закалки выше 1150 °С нецелесообразно ввиду чрезмерного роста величины зерна.

Список источников

1. Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенитом. М.: Металлургия, 1988. 256 с.
2. Гервасьев М.А., Худорожкова Ю.В., Филиппов М.А. Структура и износостойкость валковых сталей с 5 % хрома // МиТОМ. 2010, № 10. С. 16–20.
3. Коршунов Л.Г. Изнашивание металлов при трении // Металловедение и термическая обработка стали / под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. М.: Металлургия, 1991. Т. 1, кн. 2. С. 387–413.